



Tietomallintaminen osana sähköverkon rakennusprojekteja

Jesse Jaakkola

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2017
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Sähkövoimatekniikka



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Sähkövoimatekniikka

JAAKKOLA, JESSE

Tietomallintaminen osana sähköverkon rakennusprojekteja

Opinnäytetyö 38 sivua, joista liitteitä 0 sivua
Huhtikuu 2017

Työn toimeksiantajana on Elenia-konserniin kuuluva Elenia oy. Elenia oy on sähköverkko-yhtiö, joka palvelee yli sadan kunnan alueella Päijät- ja Kanta-Hämeessä, Pirkanmaalla, Keski-Suomessa sekä Etelä- ja Pohjois-Pohjanmaalla.

Tämän työn tarkoituksena oli selvittää, miten infrarakentamiseen tarkoitettua BIM-tietomallia voisi soveltaa sähköverkon rakennusprojekteissa. Tarkoituksena oli myös selvittää, miten suunnittelun ja toteutuksen eri vaiheissa huomioitaisiin muun muassa 3D-mallintamisen eri käyttömahdollisuudet. Lisäksi tarkasteltiin koneohjauksen tuomia mahdollisuuksia.

Työhön sisällytettiin kaksi pilottityömaata, joista toinen käsitteli sijaintitiedon tarkkuutta taajamaolosuhteissa ja toisessa tietomallinnettiin sähköasema. Työmailla selvitettiin, mitä erityisvaatimuksia sähköverkonrakentaminen tietomallintamiselle tuo.

Työn tavoitteena on esitellä InfraBIM-tietomalli yleisesti ja sen sähköverkon rakennusprojekteihin liittyvät osa-alueet. Työn tavoitteena on niin ikään selvittää koneohjausteknologian nykytila ja soveltamismahdollisuudet sekä arvioida tietomallintamisen ja koneohjauksen soveltuvuutta sähköverkon rakennusprojekteissa. Lisäksi tavoitteena on selvittää ja arvioida sähköverkon sijaintitietojen ja tietosisällön vaatimuksia suhteessa käytännön mahdollisuuksiin.

Työssä käydään läpi tietomallintamisen perusteita ja sitä, miten tietomallintamista käytetään infrarakentamisessa tällä hetkellä. Työssä arvioidaan tietomallintamisen ja koneohjauksen mahdollisuuksien hyödyntämistä sähköverkon rakentamiseen ja dokumentointiin.

Työssä ei tarkastella tietomallin tietosisältöä eikä tiedonsiirtoformaatteja yksityiskohtaisesti. Työssä ei myöskään yksityiskohtaisesti arvioida tietojärjestelmien toiminnallisuuksia. Työn tuloksena on yleisiä esityksiä toimenpiteistä ja jatkoselvitystarpeista.

Soveltavassa osuudessa selvitettiin tietomallintamisen ja koneohjauksen soveltuvuutta sähköverkon rakennusprojekteissa. Käytännön työmailla selvitettiin paikannustekniikan tarkkuutta ja tietosisältöä sekä tietomallin muodostamista pistepilven avulla.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Electrical Engineering
Electrical Power Engineering

JAAKKOLA, JESSE

Information Modeling as Part of the Power Grid Construction Projects

Bachelor's thesis 38 pages, appendices 0 pages
April 2017

This thesis was commissioned by Elenia Ltd, which is part of Elenia Group. Elenia Ltd. is a power Grid Company, serving more than one hundred municipalities in Finland.

The purpose of this study was to find out how BIM data modeling could be applied to power grid construction projects. How different stages of planning and implementation can be taken into consideration. The thesis also looked at the opportunities offered by the machine control.

The work was included in two pilot construction sites, one of which dealt with the accuracy of the location data in urban conditions and other data were modeled from substation. Specific requirements for power grid construction using BIM data modeling were investigated.

The aim is to introduce InfraBIM data model in general and its associated areas to the power grid construction projects, find out the current status of the machine control technology and application possibilities and to evaluate the suitability of data modeling and machine control in grid construction projects. In addition to this, the aim is to determine and assess the requirements of the electricity network location information and content information in relation to the practical demands.

The thesis discusses information modeling, how BIM is used for infrastructure construction at this day. This thesis evaluates the use of data modeling and machine control in power grid construction sites.

Practical part looked at the suitability of data modeling and machine control in power grid construction projects. In practical sites we explored the accuracy of positioning technique and the information content of the data model.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	TIETOMALLINTAMINEN.....	7
2.1	Tietomallintamisen perusteet.....	7
2.2	Tietomallintaminen projektin elinkaaren eri vaiheissa.....	9
2.3	Tietomallintaminen infrarakentamisessa	12
2.3.1	Tampereella keskitetään infratiedon hallintaan	13
2.4	Sähköverkon rakennusprojekteihin liittyvät osa-alueet.....	14
2.4.1	Sähköverkon maakaapelointiin liittyvät osa-alueet	15
2.4.2	Sähköaseman tietomallintamiseen liittyvät osa-alueet.....	16
3	KONEOHJAUSTEKNOLOGIA.....	17
3.1	Koneohjausteknologian nykytila	20
3.2	Koneohjausteknologian soveltamismahdollisuudet.....	21
4	MAAKAAPELIN PAIKANTAMISEEN KÄYTETTÄVÄ TEKNOLOGIA	22
5	SÄHKÖVERKON SIJAINITIEDON JA TIETOSISÄLLÖN VAATIMUKSET	23
5.1	Uudet viranomaismääräykset.....	23
6	TIETOMALLINTAMISEN JA KONEOHJAUSTEKNOLOGIAN SOVELTUVUUS SÄHKÖVERKON MAAKAAPELOINTIHANKKEISIIN	24
6.1	Pilot-työmaa yhteistyössä Verkonrakentaja Wire Oy:n kanssa	24
6.1.1	Tulokset.....	25
6.2	Pilot-työmaa sähköaseman mallinnuksesta.....	27
6.2.1	Kenttämittaukset	28
6.2.2	Tulokset.....	30
7	KEHITYSEHDOTUKSIA TIETOMALLINTAMISEEN LIITTYVÄN KOKONAISUUDEN SOVELTAMISEEN SÄHKÖVERKON RAKENNUSPROJEKTEISSA	34
	LÄHTEET.....	36

LYHENTEET JA TERMIT

NIS	Networks Information System
DMS	Distribution Management System
BIM	Building Information Model
Ely-keskus	Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus
GNSS	Global Navigation Satellite
GPS	Global Positioning System
InfraBIM	Infra Built Environment Information Model
RIL	Suomen Rakennusinsinöörien liitto
RTS	Rakennustietosäätiö
XML	Extensible Markup Language
YIV	Yleiset inframallivaatimukset
YTV	Yleiset tietomallivaatimukset
CAD	Computer-aided Design
ICT	Information and Communications Technology
GPRS	General Packet Radio Service
IFC-formaatti	Tietomalleissa yleisesti käytetty formaatti, jonka on kehittänyt International Alliance for Interoperability (IAI) tarkoituksena varmistaa yhteistyö rakennusallalla.
Laser-keilaus	Mittaustapa, jolla kohteesta saadaan mittatarkka kolmiulotteinen kuva
Pistepilvi	Kolmiulotteinen pisteistä muodostuva kuva mitattavasta kohteesta
Tietopiste	Tietopisteeseen on keskitetysti koottu aineistoa ja tietoa
Kolmioverkkomalli	Toiminto, jolla luodaan matemaattisesti kolmiot pisteiden ja viivojen päälle

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö on tehty Elenia-konserniin kuuluvalla Elenia Oy:lle. Elenia Oy on sähköverkkoyhtiö, joka palvelee 420 000 kotitalous-, yritys- ja yhteiskunta-asiakasta yli sadan kunnan alueella Päijät- ja Kanta-Hämeessä, Pirkanmaalla, Keski-Suomessa sekä Etelä- ja Pohjois-Pohjanmaalla. Elenia rakentaa maakaapeloitua sähköverkkoa noin 3000 km vuodessa.

Yhteiskunta ja ihmisten arki tarvitsevat entistä varmempaa sähkönjakelua. Sähköverkon on myös kaikissa tilanteissa ja olosuhteissa toimittava niin, ettei siitä aiheudu vaaraa.

Suomen sähköverkot on suurimmaksi osaksi rakennettu 1960–80 –luvulla. Huomattava osa sähkönjakelussa käytettävistä avojohdoista on ikääntymisen takia uusittava viimeistään 2020-luvulla. Tämä on ollut sähköyhtiöille suuri haaste, mutta samalla myös mahdollisuus. Maakaapelointi onkin vakiintunut rakentamistavaksi myös taajamien ulkopuolella.

Sähkön laatuun keskeisesti vaikuttavat tekijät, käyttövarmuus ja jännitteenlaatu, määräytyvät lähes täysin sähkön jakeluverkkojen ominaisuuksista. Uusi sähkömarkkinalaki asettaakin toimitusvarmuusvaateita sähköverkkoyhtiöille. Laki verkkoinfrastruktuurin yhteisrakentamisesta ja käytöstä sekä sitä täydentävä määräykset asettavat sähköverkkoyhtiöille verkkotietoihin ja rakentamisprojekteihin liittyviä tiedonantovelvollisuuksia sekä sijaintitiedoille tarkkuusvaatimuksia.

Uutta teknologiaa ja tietomallinnusta hyödynnetään jo nyt rakennusten ja infrakohteiden suunnittelussa ja rakentamisessa sekä omaisuudenhallinnassa. Työssä käydään läpi tietomallintamisen perusteita, miten tietomallintamista käytetään infrarakentamisessa tällä hetkellä. Työssä arvioidaan tietomallintamisen ja koneohjauksen mahdollisuuksien hyödyntämistä sähköverkon rakennusprojekteissa etenkin rakentamiseen ja dokumentointiin.

Soveltavassa osuudessa selvitetään tietomallintamisen ja koneohjauksen soveltuvuutta sähköverkon rakennusprojekteissa. Käytännön työmaalla selvitetään paikannustekniikan tarkkuutta ja tietosisältöä sekä tietomallinnettiin saneerausta odottava sähköasema.

2 TIETOMALLINTAMINEN

Tietomallintamisesta on tullut viimeisten vuosikymmenten aikana yhä useammin käytetty uusi *geneerinen ICT-pohjainen teknologia*, joka on tuonut uudenlaisen tavan toimia rakentamisessa (Eastman ym. 2011). Tietomallintaminen on koko rakennusprosessin elinkaaren aikaisten tietojen kokonaisuus kolmiulotteisessa muodossa (RIL www-sivut).

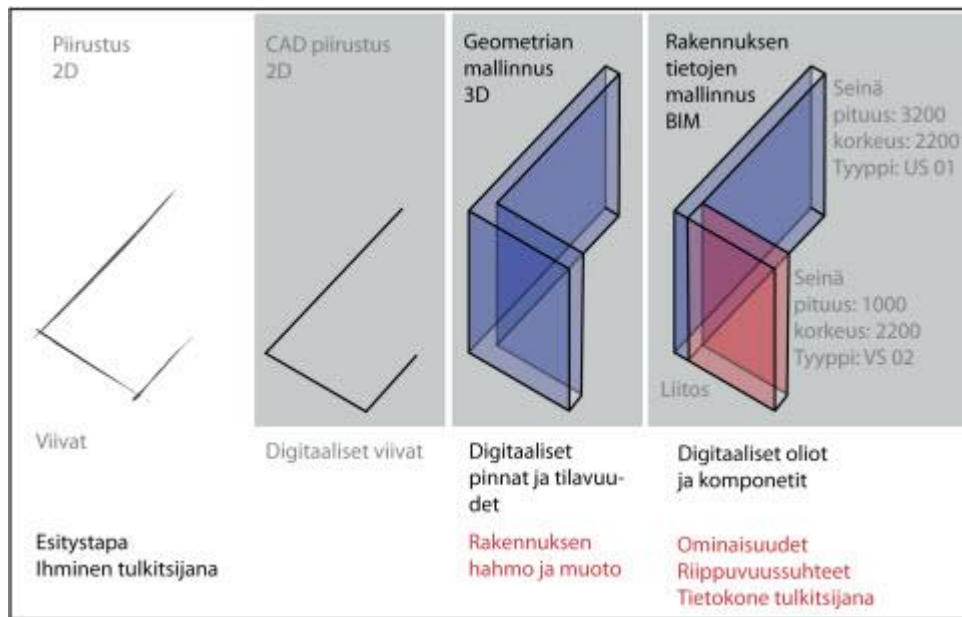
Tämän digitaalisen tietokonemallin tarkoituksena on koota kaikki tarvittava tieto yhteen, jotta sen hyödyntäminen olisi helppoa (RIL www-sivut). Tietomallintamiseen on liitetty vahvoja lupauksia siitä, että prosessin toimijat saadaan otettua paremmin huomioon rakennusprojektin eri vaiheissa. Kirjallisuuden mukaan tietomallintamisen avulla rakennusprojektin käyttäjät ja projektista vastaavat henkilöt pystyvät osallistumaan entistä paremmin projektin suunnitteluun ja käyttövaiheen toimintoihin (Eastman ym. 2011. 19–26).

Malli mahdollistaa erilaisten analyysien ja simulointien tekemisen jo hankkeen varhaisessa vaiheessa. Tämä edesauttaa vaatimukset ja suunnittelunormit täyttävien, hyvin toimivien ja helposti rakennettavien kohteiden suunnittelua. Tietomallinnus tunnetaan yleisesti lyhenteellä BIM (Building Information Model) (RIL www-sivut).

2.1 Tietomallintamisen perusteet

Käsite rakennusten tietomallintamisesta esitettiin ensimmäisen kerran 1970-luvulla, kun ensimmäiset rakennussovelluksiin tarkoitetut suunnitteluohjelmat olivat kehitteillä. Riittävän tehokkaiden tietokoneiden kalleus ja myöhemmin tulleen CAD-suunnittelun yleistyminen rajoitti kuitenkin tietomallinnuksen leviämistä (Eastman ym. 2011. 354, Björk. 1995. 12).

Yksi suurimmista tietomallintamisen tarjoamista hyödyistä on sen havainnollisuus (Eastman ym. 2011. 19–26). Kaikki rakennusta esittävät mallit eivät kuitenkaan ole tietomalleja, mikäli niistä puuttuu rakentamista, osavalmistusta ja hankintaa tukeva tieto. Muun muassa mallit, joissa on vain visuaalista tietoa 3D-muodossa ilman attribuuttitietoja tai mallit, jotka mahdollistavat kohteiden muokkauksen yhdessä näkymässä, mutta eivät automaattisesti siirrä muutosta toisiin näkymiin, eivät ole tietomalleja (Tekla www-sivut).



KUVA 1. Kaikki rakennusta esittävät mallit eivät ole tietomalleja (Lemponen, 2011)

Tietomallissa hankkeen tiedot eivät ole perinteisen dokumenttipohjaisen toimintatavan mukaan hajallaan eri piirustuksissa ja suunnitelmissa, vaan tietomallista voi tulostaa vain tarvittavat tiedot. Tällöin tietosisältö vastaa kunkin käyttäjän tarpeita. Esimerkiksi työvaihekohtaiset kuvat on yksinkertaista ottaa perinteistä piirustusta pelkistetyimmällä tietosisällöllä. Tämä helpottaa piirustusten tulkintaa ja käyttöä (RIL www-sivut).

Mallista voi tuottaa dokumentit automaattisesti tai puoliautomaattisesti. Erilaisten muut-
tujen avulla tietomallintaminen mahdollistaa tarkemman objektien kontrolloinnin, joka taas vähentää muutoksista syntyviä sijoittelu- ja geometriavirheitä. Muutokset päivittyvät reaaliaikaisesti joka näkymään (Eastman ym. 2011. 19–26). Malli varmistaa sen, että dokumentit ovat keskenään ristiriidattomia. Mallin yhteensopivuus eri suunnittelualojen välillä varmistetaan visuaalisesti kaikki suunnitelmat yhdistävällä yhdistelmämallilla (Eastman ym. 2011. 19). Tällöin esimerkiksi kuvien ja leikkausten välille ei synny ristiriitaisuuksia ja määrälliset vastaavat tarkasti työn oikeita määriä (RIL www-sivut).

Tietomalliin voi tarvittaessa liittää tietoa muun muassa aikatauluista, hankinnoista ja hinnoista. Esisuunnittelu-, suunnittelu- ja rakentamisprosessit voivat hyödyntää näitä tietoja prosessin hallinnassa (RIL www-sivut). Mallista saatu karkea kustannusarvio helpottaa taloudellisen kannattavuuden arviointia. Näin ollen kannattamattomat investoinnit voidaan hylätä jo ennen rakentamista. Mikäli hanke osoittautuu kannattavaksi, voidaan valmistuvan kohteen laatuun ja toiminnallisuuteen vaikuttaa jo hyvissä ajoin suunnittelun

alkuvaiheissa (Eastman ym. 2011. 26–29). **Tietomallintaminen parantaa suunnittelun laatua** (Yan & Damien. 2008. 4., Eastman ym. 2011. 19–26., Azhar ym. 2008. 3).

Tietomallintamiseen liittyy siis monia lupauksia, jotka toisaalta törmäävät perinteisiin ammatillisiin käytäntöihin, roolijakoihin ja yhteistyötä sääteleviin liiketoiminta- ja sopimusmalleihin (Eastman ym. 2011. 26–28). Eastman ym. (2011. 26–29) nostaa esiin mm. juridiset kysymykset, kuten kuka omistaa mallit, kuka maksaa niistä ja kuka vastaa viettävän tiedon oikeellisuudesta. Lisäksi kirjallisuudessa mainitaan mahdolliset yhteistyön ongelmat, jos hankkeen kaikki suunnittelijat eivät käytä tietomallintamista. Tällöin aikataulun ja kustannusarvioiden liittäminen voi tuottaa ongelmia eri ohjelmistojen välillä. Jonkun on oltava vastuussa tiedon siirtymisestä ja virheettömyydestä (Azhar ym. 2008. 7-8).

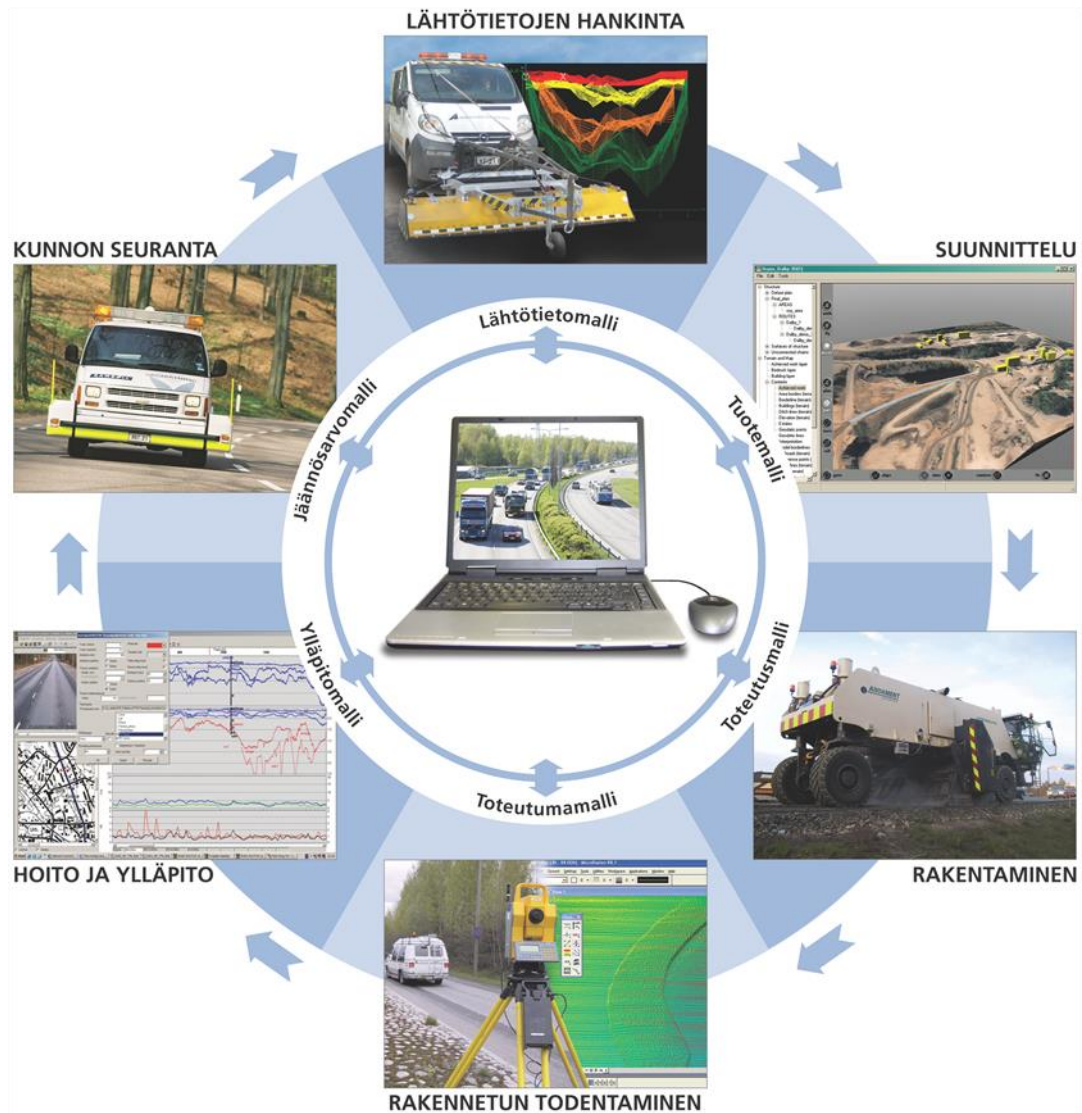
Tietomallintamisen tehokas hyödyntäminen vaatiikin vielä merkittäviä muutoksia projektin osapuolten yhteistyössä. Suurimmat haasteet liittyvät 1) yhteistyön organisoimiseen, 2) oikeudellisiin kysymyksiin, jotka liittyvät dokumenttien tuottamiseen ja omistamiseen, 3) käytäntöjen ja informaation käytön muutoksiin sekä 4) tietomallintamisen käyttöönottoon (Eastman ym. 2011. 26–28).

BIM teknologia kehittyi edelleen nopeasti (Eastman ym. 2011. 354). Tietomallia voi tuottaa useilla eri suunnitteluohjelmilla ja rakennushankkeessa tieto onkin usein hajautettu useampaan malliin, jolloin jokaisella suunnittelijalla on omat mallinsa. Tämän takia on kehitetty yhteinen siirtomuoto objektien älykkääseen tiedonsiirtoon. Talonrakennuksessa tähän on kehitetty IFC-formaatti, joka sisältää tiedon rakennusosien muodoista ja ominaisuuksista. Infrapuolessa tiedonsiirtoon käytetään LandXML-formaattia (RIL [www-sivut](http://www.ril.fi)).

2.2 Tietomallintaminen projektin elinkaaren eri vaiheissa

Tietomallintamisella tarkoitetaan siis kaikkia suunnittelualoja, rakentamista sekä rakennuksen käytön ja ylläpidon yhdistävää tietovarastoa. Tietomalleja hyödynnetään koko rakennuksen elinkaaren ajan, lähtien suunnittelun alusta ja jatkuen vielä rakennusprojektin jälkeen. Kokonaisvaltainen ja yhteiseksi ymmärretty etu, piirustuskeskeisiä toimintatapoja uudistava yhteistyö, tiedonhallinnan tehokkuuden parantuminen ja pitkän aikajänneen elinkaarinäkökulma ovat tietomallinnuksen keskeisiä periaatteita. Tämä tarkoittaisi

sitä, että kertaalleen tallennetut tiedot olisi helposti uudelleen käytettävissä, jolloin uudelleen mallintamista voitaisiin välttää. Tämä vaatii hankkeen omistajilta sitoutumista ja panostusta koko elinkaaren ajan tietojen hallintaan (Penttilä, 2008).



KUVA 2. Tietomallintaminen tehostaa prosessin koko elinkaaren hallintaa (RTS www-sivut).

Lähtötietomalli on kokoelma eri tietolähteistä kootuista ja jäsennellyistä lähtötiedoista digitaalisessa muodossa. Lähtötietomallista erityisen tekee sen tapa koota, muokata ja hallita hankkeen lähtöaineistoa. Lähtötietomalli on tärkeää tehdä hyvissä ajoin ennen suunnitteluprosessin alkua, jolloin suunnittelijoilla on välittömästi tarvittavat lähtötietoaineistot käytettävissään. Lähtötietomalli seuraa hanketta koko sen elinkaaren ajan ja täydentyy hankkeen edetessä (YIV 2015. Osa 3).

Infrarakentamisessa tuotemallia on yleisesti kutsuttu infrarakenteen inframalliksi. Eli samaa tarkoitaviin sanoihin inframalli ja tuotemalli saattaa törmätä, liittyen kenen kanssa on tekemisissä (YIV 2015. Osa 2). Inframalli koostuu useista osamalleista, jolloin inframallin sisältämä tieto saadaan jaettua loogisiin ja kokonaisuutta selkeyttäviin osiin. Osamallit ovat hyvä vastuuttaa eri tekniikkalajien suunnittelijoille ja sisällyttää heille omat kokonaisuudet myös mallinnuksen osalta. Inframallien jako osamalleihin voi tapahtua esimerkiksi seuraavasti:

- Pohjarakennus
- Johdot ja laitteet
- Työnaikaiset laitteet
- Sillat
- Valaistus
- Liikenteenohjaus
- Turvalaitteet
- Hallinnolliset rajat.

Hankkeen koosta ja luonteesta riippuen osamalleja voi jakaa vieläkin pienempiin osakokonaisuuksiin jos tarpeellista (YIV 2015. Osa 4).

Suunnitelmamallista muodostettavaa rakennettavan kohteen mallia kutsutaan toteutusmalliksi. Toteutusmalli koostuu kauttaaltaan jatkuvista 3D-taiteviivoista ja niiden kolmioverkkomalleista. Millään suunnitteluohjelmalla ei vielä toistaiseksi saa suoraan vaatimukset täyttäviä malleja vaan nykytilanteessa vaaditaan erillinen muokkausvaihe vaatimusten täyttämiseksi (YIV 2015. Osa 5.2).

Hankkeen edetessä toteumatiedolla täydennetyt infra- ja toteutusmallit siirtyvät ylläpidon käyttöön. Ylläpitomallit kuvaavat kohteen nykytilanteen tietosisältöä ja niitä voidaanakin hyödyntää muun muassa huoltokirjasovelluksissa teknisten tietojen, dokumenttien, kunnossapidon eri tehtävien ja huoltohistorian hallintaan sekä tulevien hankkeiden lähtötietomalleina (YIV 2015. Osa 10).

Elinkaarimalli käsitteenä tarkoittaa projektin kaikkien vaiheiden ja prosessien seurantaan aina lähtötiedoista valmiiseen projektiin. Valmiin kohteen kunnon seuraamiseen voidaan laatia jäännösarvomalli (Rakennustieto. 2012).

2.3 Tietomallintaminen infrarakentamisessa

Sähköisessä muodossa olevan tiedon ehdoton vaatimus on ensisijaisesti käyttää avoimia standardeja ja tietomallinnusta tukevia formaatteja, jotta tallennettu tieto saadaan pidettyä mahdollisimman hyvin hyödynnettävissä olevassa muodossa. Mallinnushankkeen tarjouspyynnöstä on hyvä käydä ilmi, minkälaiset vaatimukset lopputuotteelle on asetettu (YIV 2015. Osa 2).

Infra-alalla yleisimmin käytetyt tietomallit saattavat erota peruseräisyydeltään. Esimerkiksi eri vesihuoltoverkoston mallit saattavat olla hyvinkin lähellä toisiaan, kun taas maanrakenteiden suunnitteluohjelmissa poikkeamat voivat olla merkittäviä. Tästä syystä vesihuoltoverkoston suunnittelua voidaan helposti toteuttaa myös toisilla suunnitteluohjelmilla, kun taas maanrakenteiden osalta siirretty malli vastaa lopputulosta, mutta ei välttämättä sisällä kaikkia tietomallin muodostamiseen vaadittavia tietoja (YIV 2015. Osa 2).

Tietojen hallinnassa on otettava aina huomioon tiedon alkuperäisformaatti. Mallin luovutuksessa on oltava varmuus, että oleellinen suunnitelmatieto säilyy ja on siirrettävissä mallin mukana eteenpäin. Toisin sanoen kaikki käytetyt materiaali- ja profiilikirjastot, tietomalliselostusta myöden, on luovutettava mallin yhteydessä (YIV 2015. Osa 2).

InfraBIM – nimikkeistö sisältää infrarakenteiden ja – mallien numerointi ja nimeämis-käytännöt. Mittayksikkönä käytetään metriä. Ensisijaisesti tulee käyttää valtakunnallisten suositusten mukaisia EUREF-FIN -koordinaattijärjestelmää ja N2000 – korkeusjärjestelmää. Mikäli lähtötietoja tai aiemmin tehtyjä suunnitelmia on muissa koordinaatistoissa tai korkeusjärjestelmissä, tulee aineisto muuntaa haluttuun koordinaatistoon ja korkeusjärjestelmään. Muunnokset on aina varmistettava toimiviksi ja luotettaviksi (YIV 2015. Osa 2).

Mallin luovutuksen yhteydessä tulee mukaan liittää aina tietomalliselostus. Tämä on tärkein malliin liitettävä dokumentti, joka kuvaa inframallin ja sen osamallien tilannetta mallin luovutushetkellä. Selostus sisältää kaikki mallin käyttöön ja luotettavuuteen liittyvät

seikat, joihin on kirjattu mahdolliset poikkeamat sovittuun sisältöön tai esimerkiksi ohjelmistojen asettamia rajoituksia mallin sisällölle tai tiedonsiirrolle (YIV 2015. Osa 2).

2.3.1 Tampereella keskitetään infratiedon hallintaan

Suurissa rakennushankkeissa tietomallien käyttö on suosittua, mutta myös pienemmissä rakennushankkeissa hyödynnetään tietomallintamisesta entistä useammin. Suomessa tietomallien käyttöön ja hyödyntämiseen on tehty kansallisia ohjeistuksia, talonrakennushankkeita varten Yleiset tietomallivaatimukset 2012 (YTV2012) sekä infrahankkeita varten Yleiset Inframallivaatimukset 2015 (YIV2015) (Jäväjä, Lehtoviita. 2016. 32).

Vaikka Suomi voidaan lukea kansainvälisesti tietomallinnuksen kärkimaihin, monet muutkin maat ovat viime vuosina panostaneet tietomallinnuksen kehitykseen. Näitä maita ovat erityisesti Yhdysvallat, Iso-Britannia ja Norja. Vaikka tietomallintaminen onkin Suomessa hyvällä tasolla, on väitetty, että Suomen kehitys ei pysy kansainvälisessä vauhdissa (Jäväjä, Lehtoviita. 2016. 32).

Esimerkiksi Tampereen kaupunki pyrkii tehokkaampaan infrahankkeiden lähtötietojen hyödyntämiseen. Tampereen kaupunki kokoaa infrahankkeiden lähtötietomalleja kolmiulotteeseen kaupunkimalliin, jolloin on helpompi saada muun muassa maanalaisten joiden ja putkien rakennetietoja eri tahojen käyttöön. Tällöin on helpompaa havainnollistaa esimerkiksi uutta asuinaluetta kansalaisille. (Tampereella keskitetään infratiedon hallintaan WWW-sivut)

Toistaiseksi Tampereen kaupunki hallitsee lähtötietoja hankekohtaisesti, mutta lähitulevaisuudessa on tarkoitus siirtyä kantakaupungin kattavaan kaupunkimalliin. Tavoitteena on, että tietoa voisi suodattaa käyttötarpeen mukaan kaupungin omalta infrasuunnittelun tietomallipalvelimelta. (Tampereella keskitetään infratiedon hallintaan WWW-sivut)

Tampereella on useita suuria keskustahankkeita, joissa on useita osapuolia ja paljon maanalaisia rakenteita. Kaupungin tietohallintakoordinaattorin Janne Lindbergin mukaan näin suurissa kohteissa on pakko käyttää mallintamista, jotta hankkeita pystytään hallitsemaan. Kasvavan tietämyksen myötä mallintamisen toivottaisiin leviävän myös pienempiin hankkeisiin, koska **tällä hetkellä tietomallintamisen merkitys kirkastuu**

usein vasta hankkeen aikana. (Tampereella keskitetään infratiedon hallintaan WWW-sivut)

Suurimpia tietomallintamista hyödyntäviä, Tampereen kaupungin keskustahankkeita, ovat Tampereen raitiotiehanke, ratapihankadun hanke sekä Tampereen Rantatunneli. (Tampereen raitiotiehankeen tietomallinnus WWW-sivut, Tampereella keskitetään infratiedon hallintaan WWW-sivut)



KUVA 4. Rantatunnelin kaltaisia jättihankkeita ei pystytä hallitsemaan ilman tietomallintamista. (Tampereella keskitetään infratiedon hallintaan WWW-sivut)

2.4 Sähköverkon rakennusprojekteihin liittyvät osa-alueet

Sähköjakeluverkkojen tietojen hallintatehtäviin automaattinen tietojenkäsittely rantautui 1960-luvulla. Aluksi keskityttiin erilaisiin laiterekistereihin, mutta pian tietokantaan lisättiin verkon johto-osien toisiinsa kytkeytymistä kuvaavaa tietoa. Tämä mahdollisti tehonjako- ja oikosulkuvirtalaskelmia, joka tarkoitti, että ensimmäiset yhteistä tietokantaa käyttävät verkkotietojärjestelmät olivat syntyneet. Tietokantaperiaatteen mukaan toteutettu järjestelmä koostuu tietokannasta, tietokannan hallintajärjestelmästä ja sovellusohjelmista. Tällöin tietokantaan kerran tallennetut tiedot ovat usean sovelluksen käytettävissä (Lakervi, Partanen. 2009. 265).

Verkkotietojärjestelmät ovat myös monimuotoisia suunnittelujärjestelmiä. Tämä onkin suurin ero, kun verrataan verkkotietojärjestelmää esimerkiksi hallinnon järjestelmiin. Järjestelmän käyttöönotto helpottuu, kun useissa sovelluksissa voidaan hyödyntää samaa käyttöliittymää (Lakervi, Partanen. 2009. 265).

Sähkøyhtiön verkkotietojärjestelmään (VTJ) liittyviä tietojärjestelmiä ovat muun muassa (Lakervi, Partanen. 2009. 266-267):

- Asiakastietojärjestelmä (ATJ), joka sisältää liittymä-, asiakas- ja energiatietoja
- Käytönvalvontajärjestelmä, joka sisältää kytkinlaitteiden tilatietoja ja sähköase-
man lähtöjen ja kiskostojen virta- ja jännitemittaustietoja
- Käytöntukijärjestelmä
- Materiaalitietojärjestelmä (MTJ), joka sisältää tarviketietoja
- Taloustietojärjestelmä (TTJ), joka sisältää työn perustietoja ja arvioituja kustan-
nustietoja
- Maanmittauslaitoksen ja kaupungin karttajärjestelmiä, joista löytyy taustakart-
toja.

Verkkotietojärjestelmällä pyritään muodostamaan toimiva verkon ja laitetietojen käyttö-
liittymä erilaisille suunnittelun ja rakentamisen sekä käytön ja kunnossapidon sovelluk-
sille. Lisäksi järjestelmä pyrkii olemaan lähtökohta verkostolaskentaohjelmien verkko-
malleille sekä tukea karttojen ja kaavioiden tuottamista (Lakervi, Partanen. 2009. 266).

2.4.1 Sähköverkon maakaapelointiin liittyvät osa-alueet

Sähköverkon maakaapeloinnissa tietomallintamisen hyödyt nousisivat parhaiten esiin pa-
rantuneena sijaintitietona, koska tietomallissa on tarkoituksena ottaa käyttöön myös koor-
dinaatistosta kolmiulotteisen tekevä z-koordinaatti. Tällöin tieto kaapeleiden upotus-
syvyydestä olisi paremmin ja tarkemmin saatavilla, jolloin muun muassa ulkopuolisten
maanrakentajien olisi helpompaa selvittää, missä verkkoyhtiön maakaapeli tarkalleen si-
jaitsee. Tällöin välttyttäisiin tilanteilta, joissa jännitteinen kaapeli kaivetaan vahingossa
esiin tai jopa rikki. Jännitteisen kaapelin kaivaminen aiheuttaa aina hengenvaaran.

Mallintamalla saataisiin tuotettua jo hankkeen alusta asti määrätietoa alueesta ja materiaaleista. Nämä tiedot helpottavat hankkeen kustannusarvion laadinnassa. Lisäksi 3D-mallilla hankkeen kustannusarvioita voisi arvioida missä tahansa suunnitteluvaiheessa. Mallilla voisi tarkistella tilojen tai rakenteiden sijaintia toisiinsa nähden ensin karkeasti ja suunnittelun edetessä kustannuksia saisi määriteltä objektiokohtaisesti (Eastman ym. 2011. 19–26).

2.4.2 Sähköaseman tietomallintamiseen liittyvät osa-alueet

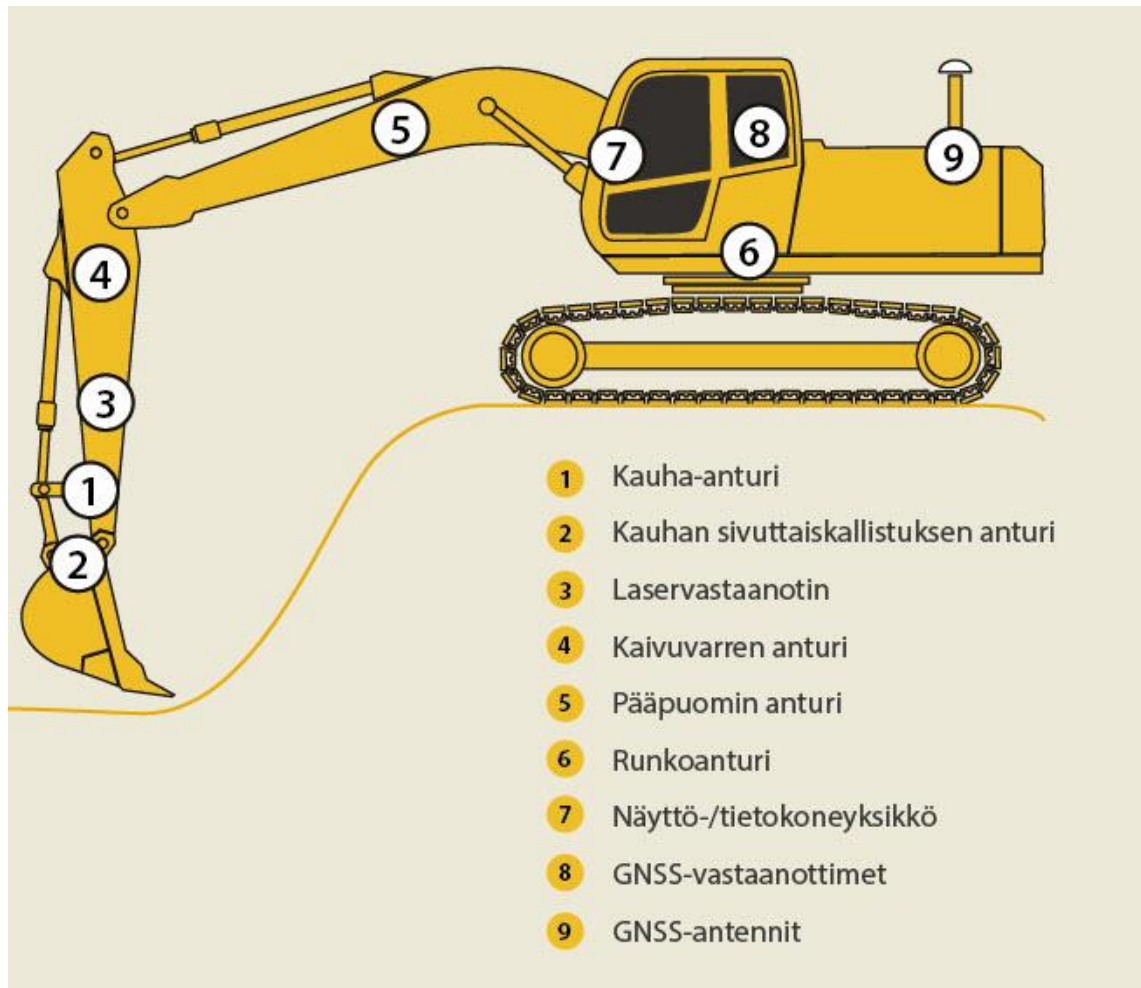
Sähköasemien saneerauksissa tietomallintamisen keskeinen hyöty nousisi esiin parantuneina lähtötietoina sekä dokumentoinnin hallintaan liittyvissä asioissa. Etenkin vanhoilla asemilla dokumentoinnin saatavuus on rajallista ja joissain kohteissa jopa heikkoa. Mallintamalla paperikuvia tulee pienempi määrä, kuvat sisältävät vähemmän virheitä ja kuvat ovat lisäksi huomattavasti havainnollisempia.

Saneerattavan kohteen mallintaminen toisi apukeinoja niin tilaajalle kuin urakoitsijoille. Esimerkiksi laserkeilaamalla päästään hyvinkin tarkkaan lopputulokseen jo olemassa olevista rakenteista ja komponenteista. Mallintamista hyväksikäyttäen tilaaja saisikin suunnitteluun tarkempia materiaali- ja lähtötietoja, joita puolestaan urakoitsijat voisivat käyttää esimerkiksi urakkatarjouksen laskemisessa. Näin kustannusarvoista saataisiin tarkempia ja suunnittelutyö helpottuu, kun lähtötiedot pitävät hyvin paikkaansa.

Suunnittelu onkin sähköasemasaneerauksissa isossa roolissa. Lähtötiedoista mallinnettu sähköasema pystyttäisiin koekasaamaan keinoitekoisesti jo suunnitteluvaiheessa. Tällöin voitaisiin varmistua osien yhteensopivuudesta sekä vähentämään tuotantovaiheen virheitä.

3 KONEOHJAUSTEKNOLOGIA

Koneohjauksella tarkoitetaan erilaisten ohjausjärjestelmien hyödyntämistä työkoneissa. Työkone on tällöin varustettu anturilla, vastaanottimella, antennilla ja näyttö-/tietokoneyksiköllä, joihin suunnitelman tieto tuodaan digitaalisessa muodossa. Näytöltä kuljettaja näkee työkoneen reaaliaikaisen aseman sekä suunnittelumallin perusteella muodostetun koneohjausmallin rakennettavasta kohteesta (YIV2015. Osa 5).



KUVA 5. Koneohjausjärjestelmän komponentit (Novatron [www-sivut](http://www.novatron.fi))

Vuonna 2015 laadittujen Yleisten inframallivaatimusten mukaan koneohjausmalli on suunnitelmamallista muodostettu rakennettavan kohteen malli, joka muodostuu 3D-taiteviivoista ja niiden verkkomalleista. (YIV 2015. Osa 5)

Toteutusmallin vaatimukset on esitelty YIV:ssä. Kaikkein tärkein mallin sisältöön liittyvä vaatimus on, että rakennettavan kohteen kaikki rakennusosat, joiden toteutuksessa on hyödynnetty koneohjausta, on mallinnettava. (YIV 2015. Osa 5)

Koneohjausjärjestelmään on mahdollista räätälöidä suunnittelumalli, jossa on ainoastaan siihen hetkeen tarvittavat rakentamista koskevat tiedot. Koneohjauksen avulla esimerkiksi kaivannot voidaan kaivaa suoraan koneen näytöltä saatavan mallin mukaan. (Kilpeläinen ym. 2004. 39–40)



KUVA 6. Ohjaamon näytölle saadaan reaaliaikaista grafiikkaa esimerkiksi luiskan kaltevuudesta. 3D-näkymä lintuperspektiivistä on myös mahdollinen. (Päiviö. 2017)

Toimiakseen, koneohjausjärjestelmä vaatii reaaliaikaisen ja tarkan tiedon työkoneen sijainnista. Työkoneen ja kauhan sijaintia mitataan liike-, kaltevuus- ja kiihtyvyyssanturitekniikan sekä GPS- paikannuksen avulla. Sijaintitiedon ollessa tarkasti selvillä, koneohjausjärjestelmä pystyy paikantamaan työkoneen terän noin ± 10 mm tarkkuudelle.

Kun järjestelmä tietää koneen sijainnin, pystytään se esittämään koneohjausmallissa. Kai-vurissa olevan koneohjausjärjestelmän näytöltä kuljettaja voi tarkistaa rakennuskohteen kaivannon syvyyden ja tarvittaessa muita tarpeellisia tietoja. (Kilpeläinen ym. 2004)

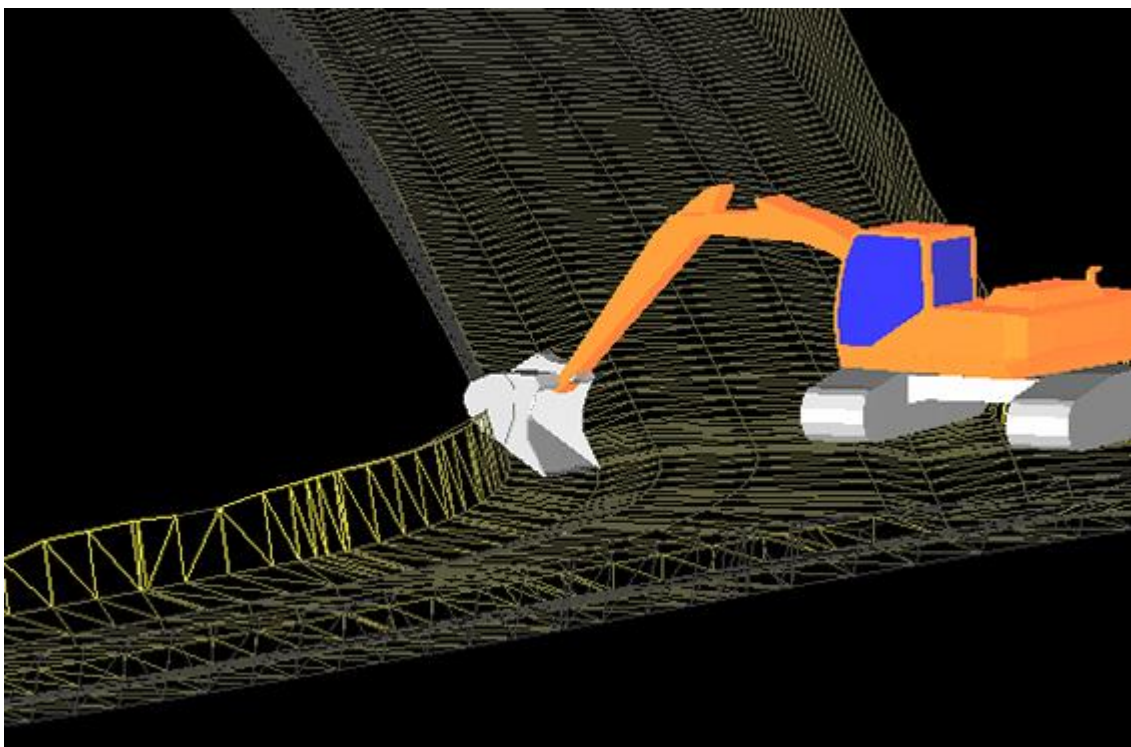


KUVA 7. Novatronin 8,4” kosketusnäytöllinen XSITE PRO 3D – koneohjausjärjestelmä. Suunniteltu, valmistettu ja testattu Suomessa, kotimaisen infrarakentamisen tarpeisiin (Novatron WWW-sivut).

Urakoitsijan näkökulmasta tietomallien käytön yksi suurimmista hyödyistä on koneohjauksen hyödyntäminen hankkeen eri vaiheissa. Koneohjaus tehostaa ja nopeuttaa hankkeen valmistumista. Suunniteltua nopeammin valmistuvat hankkeet tarkoittavat säästöjä muun muassa työvoima- ja polttoainekustannuksissa. Tarkka mittalaite antaa työlle tarkemmat toleranssit. Tällöin vältetään ylikavulta ja ylitäytöltä, joka taas vähentää materiaalien käyttöä ja kuljettamista. Parantunut tarkkuus johtaa tasalaatuisen työn jälkeen koko hankkeen osalta. Koneohjauksella tehty kaivutyö saadaan välittömästi työvaiheen valmistuttua dokumentoitua eteenpäin. Koneohjakuseen tukeutuva rakentamistapa näyttää olevan rakentamistapa, jolla tulevaisuudessa tullaan rakentamaan. (Novatron WWW-sivut).

3.1 Koneohjausteknologian nykytila

Infrarakentamisessa 3D-ohjausjärjestelmillä tarkoitetaan työkoneissa käytettävää työkonenäutomaatiota eli koneohjausta. Tällöin työmaalla oleva kone on varustettu KUVA 4:n järjestelmillä ja antureilla, joihin suunnitelman tieto on tuotu digitaalisesti. Työmaalla voidaan, käyttötarkoituksesta riippuen, hyödyntää pelkästään taiteviivamaista 3D-aineistoa, pelkkiä kolmioverkkomalleja tai molempia (YIV 2015, Osa 5).



KUVA 8. Havainnollinen kolmiulotteinen malli helpottaa työskentelyä. Kuvassa rakentamisvaiheen toteutusmalli. (BuildingSmart WWW-sivut)

Koneohjausjärjestelmän ohjelmisto osaa laskea kauhan liikkeen ja sijainnin satelliittipaikantimilta saadun mittaustiedon perusteella. GPS-paikannus onkin yksi koneohjauksen tärkeimmistä osa-alueista vaikka kuljettajan ei tarvitse kiinnittää siihen juurikaan huomiota. Riittää kun seuraa, että paikannussignaalin voimakkuudesta kertova indikaattori palaa vihreänä. (Novatron WWW-sivut)

Työkoneen satelliittipaikannusta kutsutaan ulkoiseksi paikannukseksi. Koneohjausjärjestelmä määrittää työkoneen paikan maapalloa kiertävien satelliittien avulla. Koska satelliittien lähettämän paikannussignaalin kulkumatka on hyvin pitkä, on se altis erilaisille häiriöille. Myös rakennukset tai puuston luoma katve voivat häiritä paikannussignaalia.

Tämän takia työmaa usein tarvitsee tukiasemaa, jonka korjaussignaalin avulla työkoneen paikkatieto voidaan määrittää tarkemmin. Vielä nykypäivänä tukiasemat ovat tavallisesti niin isoja, että ne ovat sijoitettuna työmaakonttiin.

3.2 Koneohjausteknologian soveltamismahdollisuudet

Sähköverkon maakaapelireitin sijaintitieto saadaan nykyisin gps-laitteistolla. Elenia Oy:llä koordinaattipisteiden vaadittu tarkkuus on ± 50 cm. Kaapelointityön yhteydessä saadaan kaapelireitin x- ja y-koordinaatit, mutta kaapelin upotussyvyyttä, z-koordinaattia, ei nykyohjeistuksen mukaan tallenneta.

Sähköturvallisuuden ja työn laadun seurannan kannalta tieto kaapelin upotussyvyydestä on erityisen tärkeä. Kaapeleiden upotussyvyyden tulee olla vähintään 70 cm, mikäli kaapeleilla ei ole mekaanista lisäsuojauksia. Upotussyvyyden varmentaminen on nykyisillä välineillä hankalaa ja se onnistuukin tällä hetkellä vain työnaikaisilla tarkkuusmittauksilla tai työn jälkeen kaapelinhakulaitteella tehtävällä upotussyvyyden mittauksella (SFS 6000-8-814. 603).

Koneohjausta hyödynnettäessä paikannusta ei tarvitse tehdä erikseen vaan kaivurikuski ottaa kaivuun yhteydessä itse talteen kaapelin sijaintitiedon. Maanpinnan korkeus voidaan ottaa samoista pisteistä kuin kaapelin paikannus. Tasaisilla alueilla sijaintitiedossa päästään noin 5 cm tarkkuuteen, joka on Viestintäviraston valmisteilla olevan määräyksen 71 (M71/2016) mukaan riittävä. Tarkkuus on kuitenkin riippuvainen korjaussignaalijärjestelmistä. Työmaille sijoitettavat tukiasemat eivät täysin ratkaise ongelmaa, sillä niiden kantama on todellisuudessa rajallinen. Olosuhteista riippuen tukiaseman kantama on noin 5 kilometriä.

Elenian kokemusten perusteella koneohjauksessa merkittävin haaste tulee esiin GPS-signaalin kanssa. GPS-signaalin pysyminen hyvällä tasolla oli riippuvainen olosuhteista. Kun kuuluvuus päätkee, katkaisee se aina työn suorittamisen ja syntyvältä aineistolta puuttava luotettavuuspohja. Lisäksi maassa olevat rakenteet tulisi löytyä koneohjausyksikön ruudulta, jolloin kuljettajalla olisi parempi tietämys työskentely-alueella olevista ELY-rajoista, kaapeleista, putkista ja suojauksista.

4 MAAKAAPELIN PAIKANTAMISEEN KÄYTETTÄVÄ TEKNOLOGIA

Maakaapelointi on yleistynyt verkkoyhtiöissä kovaa vauhtia. Sähkömarkkinalaki ei aseta vaateita maakaapeloinnille, vaan sähköverkkoyhtiön tulee valita keinot, joilla se täyttää lain vaateet. Suomen suurimmat verkkoyhtiöt investoivatkin satoja miljoonia euroja vuodessa maakaapelointiin, jotta sähkömarkkinalain vaatimusten tasolle päästäisiin 31.12.2028 mennessä. Samalla on tullut tarve hallita maanalaisten kaapeleiden sijaintitietoa nykyistä paremmin ja tarkemmin.

Sähköverkot ovat osa yhteiskunnan infrastruktuuria. Sähkönkäyttäjät odottavat lähes keskeytymätöntä sähköntoimitusta. Yhteiskunnan toimivuus onkin entistä riippuvaisempi varmasta sähkönjakelusta. Maakaapeloinnissa, niin kuin verkon rakentamisessa yleensäkin, on varmistettava, että turvallisuus ei vaarannu missään vaiheessa.

Yksi tapa maakaapelointien tehostamiseen, on ollut sijoittaa ne tiealueille. Tiealueille pääseminen on kuitenkin luvanvaraista, jossa viranomaisena toimii ELY-keskus (Penttinen ym. 18). Tiealueille pääsemisessä onkin ollut haasteita, koska viranomaiset epäilevät sähkökaapelien olevan vaaraksi muille tiealueella työskenteleville, koska kaapelien tarkkaa sijaintia ei tiedetä.

Tarkka kaapelien sijaintitieto on verkkoyhtiöiden tavoitteena myös muualla kuin tiealueilla. Sijaintitiedon merkitys korostuu, kun ilmajohtoverkkoa korvataan maakaapelilla. Kaapeleita voi sijaita yllättävissäkin paikoissa, esimerkiksi harvaan asutulla seudulla. Tarkimmillaan sijaintitiedon saa kun käytetään koko xyz-koordinaatistoa. Tällöin kaapelin sijainti tiedetään jokaisessa dimensiossa.

Perinteisesti paikkatieto on koostunut kahdesta asiasta, sijaintitiedosta ja ominaisuustiedoista. Sijainti on ilmoitettu xy-koordinaattitietona, suoraan osoitteena tai paikkatieto on voinut perustua puhtaasti ihmisten havaintoihin perustuvaan tietoon.

Kaapeleiden tarkka sijaintitieto parantaa turvallisuutta ja mahdollistaa urakoitsijan kaivutyön laadun varmistuksen, kun kaapelien paikantamiseen tulee mukaan myös z-koordinaatti. Kaapelireitin z-koordinaatin avulla voidaan selvittää kaapelin upotussyvyys, mikäli maanpinnan z-koordinaatti on tiedossa.

5 SÄHKÖVERKON SIJAITITIEDON JA TIETOSISÄLLÖN VAATIMUKSET

Sijaintitiedosta tai paikkatiedosta puhuttaessa tarkoitetaan maantieteellistä sijaintia, joka koordinaattien, osoitteen tai muun paikantavan tekijän avulla määritetään. Sijaintitieto voi olla myös esimerkiksi alueen- tai paikannimi (Tilastokeskus WWW-sivut, Viestintävirasto WWW-sivut).

Eduskunta on säätänyt lain verkkoinfrastruktuurin yhteisrakentamisesta ja – käytöstä (276/2016). Viestintävirasto on valmistellut tarkempaa määräystä sijaintitiedon tarkkuudesta, laajuudesta ja jakamisesta viranomaiselle.

5.1 Uudet viranomaismääräykset

Viestintäviraston määräyksessä 71 (M71/2016) määritellään keskitetyn tietopisteen kautta saatavat vähimmäistiedot. Määrittelyllä on tarkoitus varmistaa tietopisteelle toimitettavien tietojen olevan riittävän tarkkoja, yhteismitallisia ja käytettävissä ilman tarpeettomia muutoksia (Viestintävirasto WWW-sivut).

Verkkoinfrastruktuurista on velvollisuus toimittaa Viestintävirastolle seuraavat tiedot (Viestintävirasto WWW-sivut):

1. Verkkojen infrastruktuurin ja osien fyysinen sijainti
2. Suunniteltujen rakennustöiden sijainti
3. Rakentamiseen liittyvät lupamenettelyt
4. Kaapeleiden, putkien ja niihin verrattavien aktiivisten verkon osien sijainti

Määräyksen 71 alustavan aikataulun mukaan sen oli tarkoitus tulla voimaan 1.7.2016 alkaen (Viestintävirasto WWW-sivut). Tämän työn kirjoitushetkellä määräys on edelleen luonnosvaiheessa ja sen valmistumisesta ei ole tiedotettu.

6 TIETOMALLINTAMISEN JA KONEOHJAUSTEKNOLOGIAN SOVELTUVUUS SÄHKÖVERKON MAAKAPELOINTIHANKKEISIIN

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia tietomallintamisen ja koneohjausteknologian soveltuvuutta sähköverkon rakennusprojekteissa. Aihetta tutkittiin kahden eri urakoitsijan kanssa kahdessa eri kehityshankkeessa. Toinen kehityshanke oli maakaapelin GPS-sijaintitiedon mittaukseen ja toinen sähköaseman tietomallintamiseen. Lopputulosten perusteella pyrittiin lisäämään omaa ja urakoitsijoiden tietoisuutta sijaintitiedon ja tietomallien käytöstä, sekä selvittämään tarvittavat toimenpiteet ja haasteet liittyen edellä mainittujen teknologioiden käyttöönottoon.

6.1 Pilot-työmaa yhteistyössä Verkonrakentaja Wire Oy:n kanssa

Elenia Oy teki yhteistyössä Verkonrakentaja Wire Oy:n kanssa pilotoinnin kaapelien sijaintitiedon keräämiseen ja paikantamiseen liittyen. Verkonrakentaja Wire Oy on sähkö- ja tietoliikenneverkkojen rakentamiseen erikoistunut yritys, jonka pääasiallisena toimintana on 0,4 kV- ja 20 kV – verkkojen rakentaminen ja kunnossapito. Verkonrakentaja Wire on ollut aktiivisesti mukana rakentamassa Elenian Säävarmaa maakaapeliverkkoa.

Verkonrakentaja Wire Oy oli hankkinut tarvittavan GPS-laitteiston ja pilotointimittaukset tehtiin taajamaolosuhteissa Akaan kaupungissa Pirkanmaalla kesä- elokuussa 2016. . Työmaalla pyrittiin saavuttamaan ± 10 cm mittaustarkkuus X- ja Y-koordinaateille. Samalla mitattiin myös Z-koordinaatti, joka kertoi korkeuden merenpinnasta.



KUVA 9. Avoin kaivanto.

6.1.1 Tulokset

Mikäli haluttu ± 10 cm mittaustarkkuus saavutetaan tutkaamalla, mittaukset pitää tehdä avonaisesta kaivannosta. Jos tutkalla yritettiin etsiä kaapelia peitetystä kaivannosta, reitti saattoi heittää jopa 40 cm. Kaapelitutkan tarkkuuteen eniten vaikuttivat jo olemassa olevat maakaapelit, jotka erehdyttivät tutkaa. Mikäli tutkauksessa käytettäisiin erillistä GPS-lähetintä, mittaustarkkuus varmasti paranisi mutta haasteeksi nousisivat mittauksen hitaus ja mahdollisesti jännitteiset kytkentätilat. Jos halutaan minimoida tutkauksen virhemahdollisuus, tulee GPS-mittaus tehdä avonaisesta kaivannosta. Tämä vaatisi kaivuuryhmien varustamista mittalaitteilla ja tarvittavalla osaamisella. Verkonrakentaja Wireen tekemien

kokeilujen perusteella tämä vaatisi kuitenkin laitteistojen merkittävää halpenemista ja käytön yksinkertaistumista.

Edes lisälaitteilla ei ole kaikissa olosuhteissa mahdollista päästä ± 10 cm tarkkuuteen. GPS:n tarkkuuteen vaikuttivat:

- Maaston muodot
- Rakennukset
- Muuntamon läheisyys
- Sää.

Maasto ja rakennukset olivat suurimpia GPS:n tarkkuutta heikentäviä tekijöitä. Maastossa perinteisiä ongelmia tarkkuudessa aiheuttaa katvealueet, joita voivat tehdä esimerkiksi puusto. Rakennusten vaikutus on merkittävä. Ympäröivien rakennusten aiheuttama mittavirhe oli kymmenistä sentteistä muutamaan metriin. Tämä tuli esille jo suomalaisessa omakotitalotaajamassa. Näihin ei edes yksittäisessä mittauspisteessä käytetyn ajan lisääminen juurikaan vaikuttanut.

Muuntamoiden läheisyydessä kaapeleita on usein asennettu leveäksi matoksi, joka aiheutti epätarkkuutta mittaukseen. Lähestyessä muuntamoa, mittaustarkkuus alkoi heiketä noin 5 metriä ennen rakennusta. Laitevalmistajan mukaan suurjännitelinjojen läheisyydessä mittausvirheitä pitäisi syntyä, mutta käytännön kokeissa tähän ei perusteita löytenyt.

Lisälaitteina voi käyttää työmaalle perustettavaa tukiasemaa tai digitaalista sijainnin korjausta. Tukiasema muodostaa yhden tarkkuuspisteen lisää ja vahvistaa yhteyttä satelliitteihin. Digitaalista sijainnin korjausta voidaan tehdä GPRS-yhteydellä suoraan mittauspaikalla tai jälkikäsitelyohjelmalla. Tällä on tarkoitus korjata mittauksen tarkkuutta tunnettuihin sijaintipisteisiin nähden.

Työmaalle sijoitettavat tukiasemat eivät kuitenkaan täysin ratkaise ongelmaa, koska todellisuudessa niiden kantama on rajallinen. Lisäksi tukiasema ja laitteisto on raskas ja työläs liikuteltava ja ennen kaikkea kallis.

Jos taas harkittaisiin mittauslaitteistojen sijoittamista kaivuukalustoon, se ei pilotointikohteessa tehdyissä testeissä ollut vielä teknisesti valmista. Mittaussignaalin heikkoudet tekivät itse kaivuutyöstä liian hidasta ja mittausvirheiden määrä kasvoi.

Syvyystieto oli mahdollista saada yksinkertaisesti mittaamalla avonaisesta kaivannosta ojan pohjasta ja päältä korkeudet merenpinnasta. Näistä erotuksen laskemalla saatiin ojan teoreettinen syvyys. Testasimme tätä ja saimme syvyydeksi 96 cm, kun taas perinteisellä rullamitalla syvyydeksi tuli 85 cm.

Toinen vaihtoehto olisi selvittää maanmittauslaitokselta tapauskohtaisesti maanpinnan korkeudet. Tämän aineiston tarkkuus ei kuitenkaan ole sama kaikkialla Suomessa. Maanmittauslaitoksen teettämän pintakorkeuden laserkeilauksen laatu on parempi Etelä-Suomessa ja suuremmissa taajamissa.

6.2 Pilot-työmaa sähköaseman mallinnuksesta

Toinen tässä työssä tarkasteltava pilot-työmaa toteutettiin yhteistyössä Empower PN Oy:n kanssa. Empower PN Oy on Empower-konserniin kuuluva yritys, joka on erikoistunut sähköverkkopalveluiden tuottamiseen. Empower PN Oy vastaa siirtoverkkojen ja muiden infraverkkojen sekä rakenteiden projektoinnista, rakentamisesta ja kunnossapidosta. Elenialle Empower tekee monipuolisesti niin sähköaseman rakennusta ja kunnossapitoa kuin liittymätöitä ja viankorjausta.

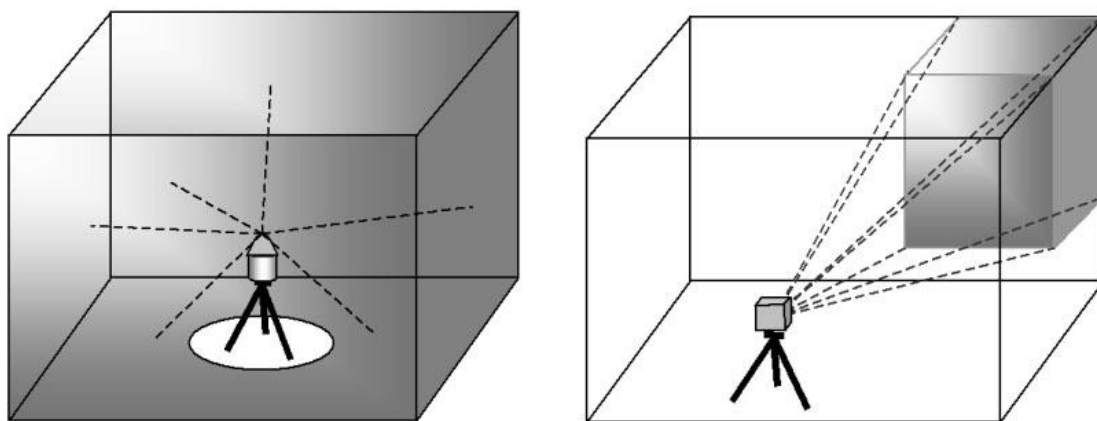
Sähköaseman tietomallintamiseen oli valittu kohteeksi Elenian verkkoalueelle kuuluva Karkkilan sähköasema Karkkilassa, Uudellamaalla. Tietomallintamisen hyödyt nousevat erityisesti esille juuri Karkkilan sähköaseman tyyppisissä vanhoissa sähköasemissa, joissa lähtötiedot ovat enimmäkseen paperisia ja ei niin hyväkuntoisia. Sähköasemalle on tulossa iso saneeraus, jonka suunnitteluun lähtötietoja ja -materiaaleja pyrittiin saamaan paremmin selville tietomallinnusta apuna käyttäen. Näitä saatuja tietoja Elenia voi itse hyödyntää projektin esisuunnittelussa sekä antaa eteenpäin urakoitsijalle ja helpottaa näin ollen heidän esisuunnitteluaan ja tarjouksen tekemistä.

Etenkin vanhoilla sähköasemilla dokumentaation taso ja saatavuus on rajallinen. Mallintamista apuna käyttäen kohteen lähtötiedot pyritään saamaan mahdollisimman hyviksi jo suunnitteluvaiheessa, jolloin rakentamisvaiheessa saadaan tehtyä oikeat asiat oikeaan aikaan. Suunnittelutyötä helpottaa huomattavasti, jos lähtötiedot pitävät mahdollisimman

hyvin paikkaansa. Laserkeilaamalla päästään hyvin tarkkaan lopputulokseen valmiista ja olemassa olevista rakenteista.

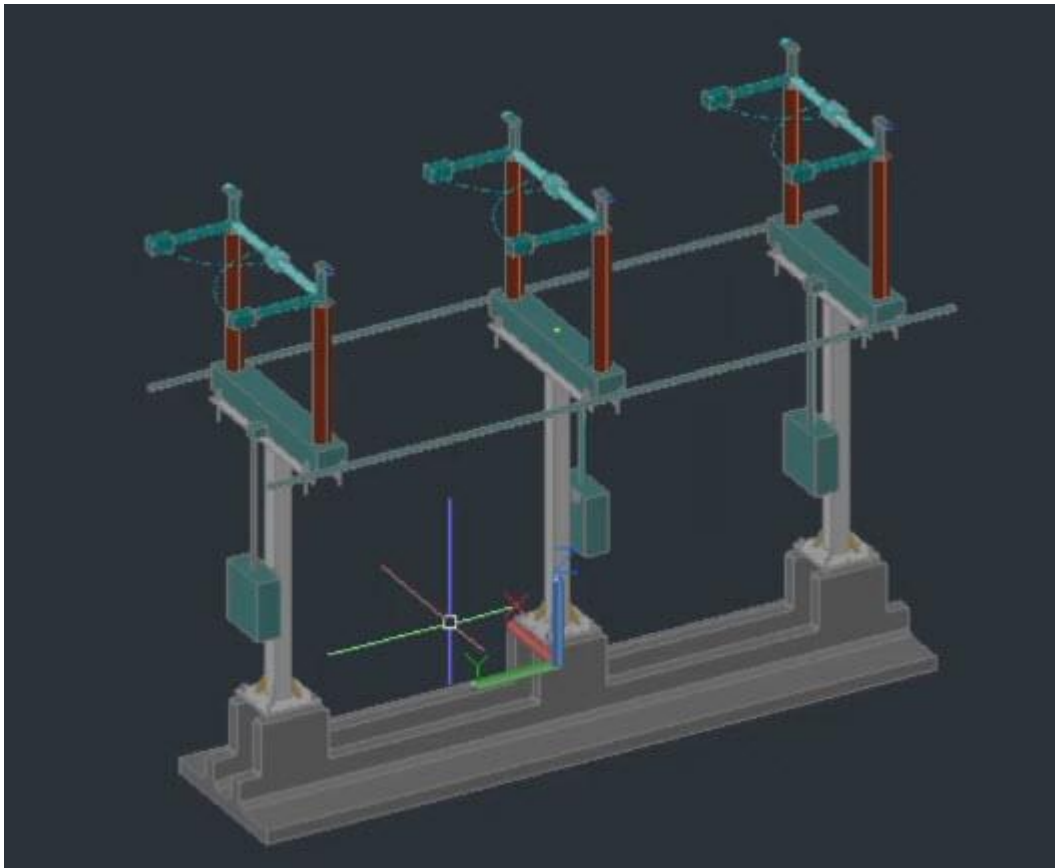
6.2.1 Kenttämittaukset

Tietomalli muodostettiin laserkeilauksella saadusta pistepilvestä. Laserkeilauksella saadaan tallennettua olemassa olevat rakenteet, jotka ovat maanpäällä. Niihin kuuluu usein myös sellaisia rakenteita, joita alkuperäisissä paperisissa kuvissa ei näy. Mittaustuloksista jää puuttumaan maanalaiset rakenteet, kuten perustusten ulkomitat sekä kaivannot ja muut maanalaiset rakenteet.



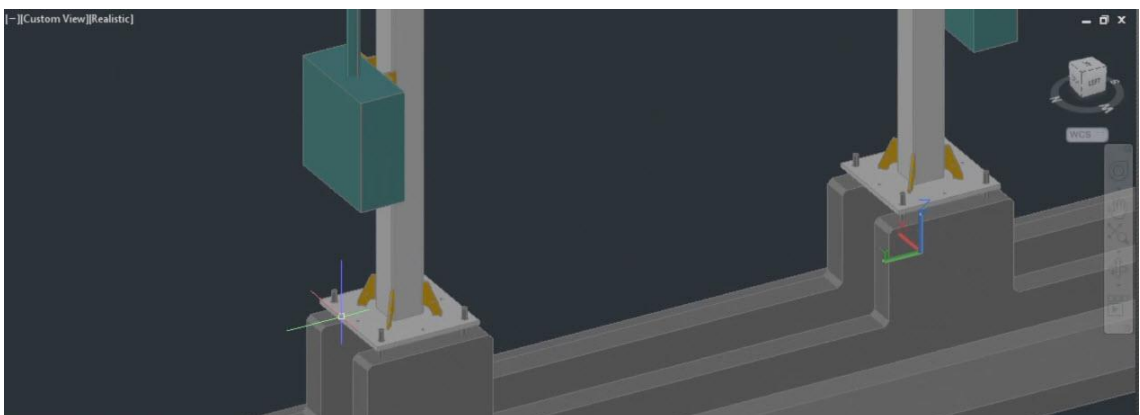
KUVA 10. Panoraamalaserkeilain ja ”kamera”-laserkeilain (P. Rönholm, H. Haggren. 2004).

Pistepilvi koostuu yksittäisistä mitatuista pisteistä, joiden sijainti on tunnettu. Pisteen sijainti saadaan mitatun kohteen ja keilaimen välisestä etäisyydestä. Lasersäde laskee etäisyyden. Tällä työmaalla keilain oli pyörivä, jolloin saatiin mitattua entistä laajempi alue.



KUVA 11. Karkkilan sähköaseman 110kV erottimien rakenteet mallinnettuna.

Suunnittelu on sähköasemakohteissa isossa roolissa. Kun tietomalli on mallinnettu 1:1 mittakaavaan, voidaan varsinainen rakenteen koekasaus suorittaa keinotekoisesti jo suunnitteluvaiheessa. Tällä pystytään varmistamaan osien yhteensopivuus sekä minimoimaan virheitä tuotantovaiheessa.

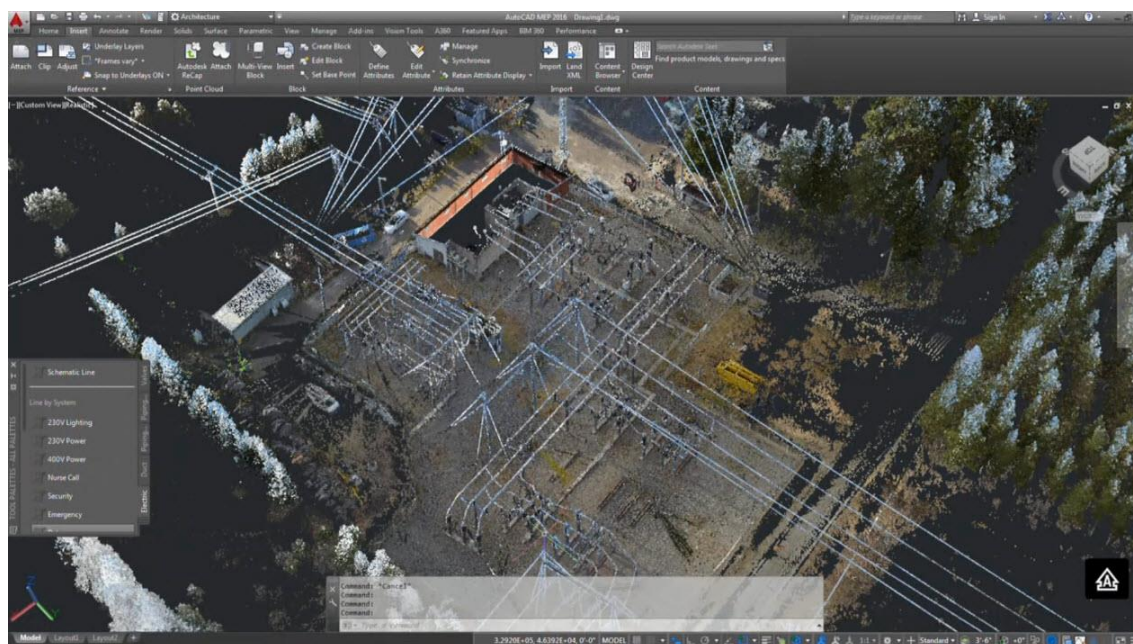


KUVA 12. KUVA 10 tarkennettuna pylvään kiinnikkeisiin.

Kenttämittaukset saatiin tehtyä suhteellisen nopeasti. Kohteessa aikaa käytettiin noin 7 tuntia vaikka keilaukset tehtiin hieman tavallista tarkemmin eli keilauksia tehtiin enemmän.

6.2.2 Tulokset

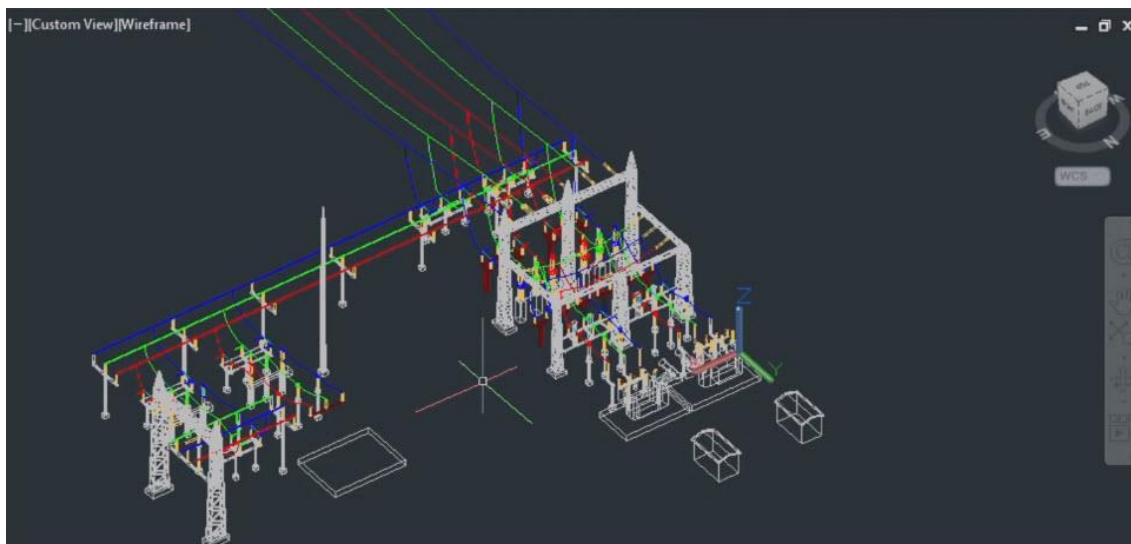
Mittaustuloksista eli pistepilvestä huomattiin, että värillisenä pistepilvestä sai huomattavasti havainnollisemman katsomiseen ja eri asioiden etsimiseen. Huomattiin myös, että tarkemmalla kuvantamisella saatiin huomattavasti paremmin apuja tietomallin rakentamiseen. Eli pistepilvi on huomattavasti tiheämpi useampien skannauspisteiden takia. Ei kannata kuvata pelkästään, mitä itse tarvitsee vaan mahdollisimman tarkasti kaikki mahdollinen. Laserkeilaimen muodostamaan pistepilveen ei voi jälkikäsitteilyohjelmilla lisätä pisteitä, vaan esimerkiksi puuttuvat komponentit voi lisätä vasta tietomallissa. Pistepilveä voi harventaa manipuloimalla pistepilveä jälkikäsitteilyvaiheessa, jolloin pistepilvi pyörii tietokoneen näytöllä nopeammin.



KUVA 13. Sähköaseman pistepilvi.

Datan muuttaminen pistepilvestä tietomalliin vie aikaa. Datan määrä on niin iso, ettei tulosten jakaminen esimerkiksi sähköpostilla onnistu. Vaikka isomman alueen kuvantamisella saavutetaan paljon hyötyjä, suurenee kuvatun datan määrä samalla usein niin isoksi, että käytännön tekeminen hidastuu. Toki tietomalliin saadaan rajattua, mitä rakenteita otetaan ohjelmassa näkyviin.

Sähköaseman tietomalli on kolmiulotteinen geometria, joka sisältää tarvittavat tiedot osista. Siinä on muun muassa rakenteet jaoteltuna teräsrakenteisiin, betonirakenteisiin ja perustuksiin, mutta myös erilaiset sähköiset osat ovat määriteltäviä. Mallista löytyy niin katkaisijat, erottimet, tukieristimet, johtimet kuin kiskorakenteetkin.



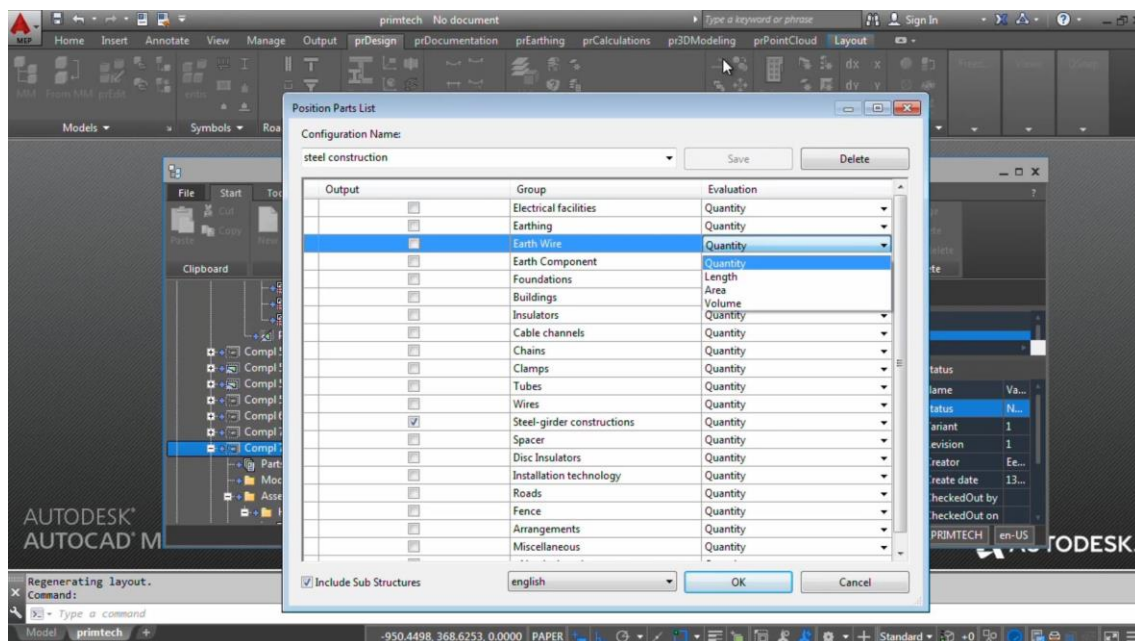
KUVA 14. Tietomalli, joka on tuotettu mittaustulosten perusteella. Kuvassa näkyy muuntajakentät sekä johtolähdöt. Väreillä on erotettu eri vaiheet. Kuvaa on mahdollista zoomata ja kiertää.

Tietomallista saadaan generoitua kaikki tarvittavat kuvat rakennusteknisesti ja sähkösuunnittelun puolelta. Tämä mahdollistaa muutostöiden helppouden esimerkiksi muuttamalla yhtä osaa mallista, se päivittyy useampaan malliin kerralla.

Tietomallintamiseen pohjautuva suunnittelu vähentää manuaalisen työn määrää. Esimerkiksi määrälaskenta helpottuu, sillä ohjelma osaa itse laskea määrälistoja. Määrälistoja voidaan erotella monella eri tavalla. Sieltä voidaan laskea:

- Pituuksia
- Tilavuuksia
- Pinta-aloja
- Lukumääriä

Toisaalta kuvien päivittämiseen liittyvä työmäärä vähenee myös, sillä rakennepuolen ja sähköpuolen suunnittelijat voivat työstää samaa mallia. Tämä tarkoittaa sitä, että suunnittelijoiden tekemä ristiinpäivitys ei ole enää välttämätöntä vaan rakennepuolen päivitykset päivittyvät suoraan sähkösuunnittelijan kuviin.



KUVA 15. Tietomallista voi suoraan laskea määrälistoja usealla eri tavalla.

Sähköaseman omistaja hyötyy tietomallin käyttämisestä erityisesti dokumentoinnin hallintaan liittyvissä asioissa. Muun muassa paperikuvia tulee pienempi määrä, kuvat sisältävät vähemmän virheitä ja kuvat on huomattavasti havainnollisempia. Esimerkiksi piirustusluettelo saattaa olla lyhyempi ja toisaalta piirustusluetteloa ei tarvitse käyttää jos asian voi tutkia suoraan mallista.

Toisaalta myös turvallisuuskulma on huomattavan tärkeä. On huomattavasti helpompaa tarkastella käytön suunnittelua tai maankaivuuta kolmiulotteisesta maailmasta, jonne voi sijoittaa esimerkiksi kaivurin. Kaksiulotteisesta maallista ei välttämättä näe johtojen roikkuvuuksia tai se voi ainakin olla vaikeaa.

Myös asentaja voi hyötyä tietomallista. Tietomalli voidaan siirtää kannettavalle tietokoneelle tai vaikka tablet-laitteelle. Kuvasta on helpompi tutkia esimerkiksi etäisyyksiä tai havaita virheitä suunnittelutyöstä. Asennusmallinsuunnittelu voidaan toteuttaa myös merkitsemällä malliin, mitä halutaan tänään asennettavan.

Urakoitsijan kannalta tietomalli on käytössä pidempään kuin pelkkä tutustumiskäynti sähköasemalla. Tietomalli mahdollistaa jopa tarjouksen jättämisen käymättä asemalla ollenkaan. Tietomalli toimii myös hankekuvauksen tukena ja havainnollistaa hankekuvausta paremmin.

Tiivistettynä tietomallintamisen hyödyt sähköasemasaneerauksissa:

1. Antaa hyvin yleiskuvan kohteesta
2. Tiedon jakaminen kohteesta eri osapuolille tehostuu
3. Yksityiskohtaisempi tieto kohteesta parantaa työn tehokkuutta ja turvallisuutta
4. Suunnittelutyö tehostuu
5. Kohteen yksityiskohtaisten tietojen hyödyntäminen tulevaisuudessa paranee
6. Tietomalli vähentää manuaalisen työn määrää etenkin suunnittelussa

Tämän työn teoriaosuudessa tuotiin esille yksi tietomallintamisen keskeinen periaate, pitkän aikajänteen elinkaarinäkökulma. Eli, miten projekti voi hyötyä tietomallintamisesta koko sen olemassa olon ajan aina esisuunnittelusta valmiin projektin kunnossapitoon. Seuraavassa on esitetty tietomallintamisen hyötyjä elinkaari-ajattelun näkökulmasta

Lähtötietomalliin saadaan koottua digitaalista, jopa kolmiulotteista, lähtötietoa kohteesta. Tätä on mahdollista täydentää muun muassa valokuvin. Etenkin Karkkilan sähköaseman ikäisissä kohteissa päästään eroon vanhoista ja huonokuntoisista, paperisista kuvista, ja tilalle saadaan tuoretta ja paikkaansa pitävää digitaalista tietoa. Tässä vaiheessa saadaan myös hyvää osviittaa tulevista materiaalitarpeista.

Inframalli koostui useista osamalleista, joita tässä työssä olisi esimerkiksi kuvan 11 komponentit. Kuvassa on jo suoritettu koekasaus ja tämä voisi olla osamalli 110 kV erottimesta. Kuva 11 taas olisi yksi osamalli kuvassa 14 olevasta inframallista. Inframallia tehdessä muutoksia täydennetään kokoajan myös lähtötietomalliin.

Tämä pilot-kohde käsitti ainoastaan laserkeilattujen lähtötietojen pohjalta muodostettavan inframallin tai tarkemmin sanottuna suunnitelmamallin. Suunnitelmamallista olisi kuitenkin mahdollista muodostaa ihan oikeasti rakennettavan kohteen mallin, jota kutsutaan toteutusmalliksi. Hankkeen edetessä toteumatiedolla päivitetyt infra- ja toteutusmallit siirtyisivät ylläpidon käyttöön, jolloin valmiin kohteen nykytilanne löytyisi tietosisälöstä.

7 KEHITYSEHDOTUKSIA TIETOMALLINTAMISEEN LIITTYVÄN KOKONAISUUDEN SOVELTAMISEEN SÄHKÖVERKON RAKENNUSPROJEKTEISSA

Suurimpana kehitysehdotuksena mieleen tulee kuvantamistekniikan kehittäminen. Tarkemmilla kuvantamisvälineillä saataisiin paremmin apuja mallintamisvaiheeseen. Mielestäni tässä työssä kuvassa 12 esitetty sähköaseman pistepilvi on laadultaan ainoastaan ok. Tänä päivänä pitäisi päästä mallintamisessakin paljon parempaan tarkkuuteen, hintalaatusuhteen pysyessä silti järkevällä tasolla.

Mielenkiinnolla odotan eurooppalaisen Galileo-satelliittinavigointijärjestelmän palveluiden täysimittaista käyttöönottoa. Aluksi siviilikäyttöön tarkoitettu järjestelmä tarjoaa maksuttomia paikannuspalveluja sekä navigointia. Vuoteen 2020 mennessä järjestelmän on tarkoitus antaa kaupallisia ja suojattuja palveluita. Kaksi ensimmäistä satelliittia laukaistiin avaruuteen 20.10.2011 Ranskan Guyanasta (Liikenne- ja viestintävirasto. 2016). Galileo-ohjelman on tarkoitus olla valmis vuonna 2020. Joulukuussa 2016 avaruuteen oli laukaistu 18/30 satelliitista, joista seuraavan vuoden marraskuuhun mennessä oli saatu toimintaan 14/30. Neljän viimeisimmän satelliitin on tarkoitus liittyä verkkoon kevään 2017 aikana (ESA WWW-sivut). Galileo-satelliittien on tarkoitus toimia yhdessä GPS-järjestelmän satelliittien kanssa. Tämä toivon mukaan antaa parantunutta sijaintitietoa esimerkiksi maakaapelien paikantamiseen käytettävän teknologian kanssa.

Suomessa on viime vuosina yleistynyt uusi, urakoitsijoiden yhteistoimintaa korostava tapa rakennushankkeiden toteuttamiseen. Malli integroi tilaajan, suunnittelijat ja rakentajat työskentelemään yhdessä, yhteisten tavoitteiden eteen, yhteisellä kaupallisella mallilla. Yhteistyö alkaa heti hankkeen alkuvaiheessa, jolloin suunnittelu- ja toteutusosaaminen ovat käytettävissä alusta alkaen. Uskon tämän tyyppisen toimintamallin olevan omimmillaan, kun työskennellään tietomallintamisen kanssa. Erinomainen esimerkki tästä on Tampereen Rantatunneli-hanke.

Kirjallisuudessa nousi useasti esiin, että tietomallintamisessa tiedot eivät aina siirry ongelmitta ohjelmasta toiseen. Tämä voi tuottaa ongelmia muun muassa aikataulujen ja kustannusten kanssa. Lisäksi osapuolten välisen yhteistyön tärkeyttä ei voi liiaksi korostaa.

Tässä työssä tarkasteltiin tietomallintamisen eri osa-alueiden soveltuvuutta sähköverkon maakaapelointiin. Työssä oli mukana kaksi Elenia Oy:n kehityshanketta, joissa toisessa keskityttiin entistä tarkemman sijaintiedon hankkimiseen maakaapelointikohteessa ja toisessa sähköasema tietomallinnettiin laserkeilauksella saatavasta pistepilvestä.

Maakaapelointikohteessa päällimmäisenä ajatuksena jäi mieleen epäluotettava sijaintieto. Tämän hetkisillä resursseilla tuleviin viranomaismääräyksiin ei tulla pääsemään. Toki tämä saattaa olla merkittävä syy siihen, että Viestintäviraston määräys M71/2016 vedettiin pois. Tarvittavaa teknologia olisi varmasti saatavilla, mutta hinta tälle on vielä liian suuri. Uskon kuitenkin vahvasti teknologian kehitykseen, ja että lähitulevaisuudessa on mahdollista saada kustannustehokkaasti tarkka sijaintitieto maanalaisistakin kaapeleista.

Sähköaseman mallinnus oli näistä kahdesta kohteesta se mielenkiintoisin. Laserkeilaus ja pistepilven rakentaminen oli minulle uutta ja saadut tulokset täyttivät odotukset. Mielestäni sähköasemasta muodostettu tietomalli ja rakennetiedot olivat erinomaisia verrattuna paperisiin lähtötietoihin. Odotan mielenkiinnolla, mitä kaikkea mallintaminen tuokaan tulevaisuudessa muun muassa sähköasemaprojekteihin.

Kokemusteni perusteella tietomallin käyttäminen toisi lisäarvoa myös sähköverkon maakaapelointeihin. Maakaapeloitua verkkoa voisi kuvantaa esimerkiksi lentämällä dronekuvauskoptereilla avonaisen ja täytön jälkeen täytetyn kaivannon. Saatua tietomallia voisi sitten täydentää myöhemmin esimerkiksi valokuvien perusteella. Näihin kaikkiin olisi mahdollista lisätä rakentamista, osavalmistusta ja hankintaa tukeva tieto.

Työ oli kokonaisuudessaan mielenkiintoinen. Kiitänkin Eleniaa ja etenkin rakennuttamisjohtaja Jarkko Kohtalaa mielenkiintoisen aiheen antamisesta. Pystyisin näkemään itseni tämän opinnäytetyön teemoissa jatkossakin.

LÄHTEET

Azhar, S. 2011. Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenger for the AEC Industry.

[http://ascelibrary.org/doi/pdf/10.1061/\(ASCE\)LM.1943-5630.0000127](http://ascelibrary.org/doi/pdf/10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127)

Björk, B. 1995. Requirements and information structures for building product data models.

<http://lib.tkk.fi/Diss/199X/isbn9513860302/>

BuildingSmart. Tampereen raitiotiehanke tietomallinnus. Luettu 14.12.2016

<http://buildingsmart.fi/tampereen-raitiotiehanke-tietomallinnus/>

BuildingSmart. Projektiportaali. Luettu 6.3.2017

<https://buildingsmart.fi/infrabim/projektiportaali>

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., Liston, K. 2011. BIM Handbook. A guide to building information modeling. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

European Space Agency (ESA). Launching Galileo. Luettu 4.4.2017.

http://www.esa.int/Our_Activities/Navigation/Galileo/Launching_Galileo/New_Galileos_join_Europe_s_satnav_constellation

Janhunen, N., Pienimäki, M., Parantala, S. 2015. Yleiset inframallivaatimukset YIV2015. Osa 4. Inframalli ja mallinnus hankkeen eri suunnitteluvaiheissa.

https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/YIV2015_Mallinnusohjeet_OSA4_Mallinnus_hankkeen_eri_vaiheissa_V_1_0.pdf

Jäväjä, P., Lehtoviita, T. 2016. Tietomallintaminen talonrakennustyömaalla. Pieksämäki: Pieksäprint.

Kilpeläinen, P., Nevala, K., Tukeva, P., Rannanjärvi, L., Näyhä, T., Parkkila, T. 2004. Älykäs tietyömaa. Tienrakennuskoneiden modulaarinen ohjaus.

<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2004/T2255.pdf>

Lakervi, E., Partanen, J. 2009. Sähköjakeluteknikka. Otatieto. Helsinki: Hakapaino.

Lemponen, M. 2011. Tietomallin analyysit ja simulaatiot Rakennushankkeessa, TTY – Arkkitehtuurin Osasto, Diplomityö

Liikenne- ja viestintäministeriö. 2016. Galileo – satelliittinavigointijärjestelmä käyttöön. Luettu 21.13.2017

<https://www.lvm.fi/-/galileo-satelliittinavigointijarjestelma-kayttoon-914283>

Liikenne- ja viestintäministeriö. 2016. Ensimmäiset Galileo-satelliitit avaruuteen. Luettu 21.3.2017.

<https://www.lvm.fi/-/ensimmaiset-galileo-satelliitit-avaruuteen-727706>

Liukas, J., Kemppainen, L. 2015. Yleiset inframallivaatimukset YIV2015. Osa 2. Yleiset mallinnusvaatimukset.

https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/YIV2015_Mallinnusohjeet_OSA2_Yleiset_Vaatimukset_V_1_0.pdf

Liukas, J., Virtanen, J. 2015. Yleiset inframallivaatimukset. YIV 2015. Osa 3 Lähtötiedot.

https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/YIV2015_Mallinnusohjeet_OSA3_Lahtotiedot_V_1_0.pdf

Luoma, S. 2015. Yleiset Inframallivaatimukset YIV 2015. Osa 10.

https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/02/YIV2015_OSA_10_Havainnollistaminen_250216.pdf

Penttilä, H. 2008. Rakennushankkeen osapuolten vaatimukset tietomalleille. Tietomallihankkeen osapuolten kelpoisuusedellytykset. Rakennustieto.

<https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK090202.pdf>

Penttinen, M., Häkkinen, P., Rantanen, E., Jyräväkoski, O. 2016. Tiealueelle sijoitettujen sähkömaakaapeleiden turvallisuus- ja ympäristövaikutukset. Liikennevirasto.

http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lts_2016-01_tiealueelle_sijoitettujen_web.pdf

Päiviö, O. 2017. 3D-koneohjaus tulossa maantiivistykseenkin. Koneporssi. Luettu

30.3.2017. <http://www.koneporssi.com/uutiset/3d-koneohjaus-tulossa-maantiivistykseenkin/>

Rakennustieto. Kohti infra-alan yhteistä tuotemallistandardia Luettu 31.3.2017

http://www.rts.fi/infrabim/InfraBIM_kalvosarjaJS.ppt

Rakennustieto. Tuote- ja tietomallinnus. Tietomallintaminen tehostaa infra-alan prosesseja ja koko elinkaaren hallintaa. Luettu 15.3.2017.

<http://www.rts.fi/infrabim/>

Rönnholm, P., Haggrén, H. 2004. Fotogrammetrian yleiskurssi. Luento 10: Optinen 3-D mittaus ja laserkeilaus.

https://foto.aalto.fi/opetus/301/luennot/10/10_pr2004.html

Salminen, K. Tampereella keskitetään infratiedon hallintaan. Luettu 14.12.2016.

<http://buildingsmart.fi/tampereella-keskitetaan-infratiedon-hallintaa/>

SFS 6000-8-814. Sähköasennukset. Osa 1: SFS 6000 Pienjännitesähköasennukset.

2012. Suomen Standardoimisliitto SFS ry. Helsinki: 1. Painos 2012.

Snellman, S. 2015. Yleiset infratietovaatimukset YIV2015. Osa 5. Rakennemallit; maa-, pohja- ja kalliorakenteet, päällysy- ja pintarakenteet, 5.2 Maanrakennustöiden toteutusmallin (koneohjausmalli) laadintaohje.

https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/YIV2015_Mallinnusohjeet_OSA5_2_Vaylarakenteen_toteutusmallin_laatimisohe_V_1_0.pdf

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL. Tietomallinnus. Luettu 14.12.2016.

<http://www.ril.fi/fi/alan-kehittaminen/tietomallinnus.html>

Tilastokeskus. Käsitteet. Sijaintitieto.

<http://www.stat.fi/meta/kas/sijaintitieto.html>

Tekla Solutions. Mitä on BIM?. Luettu 14.12.2016.

<https://www.tekla.com/fi/tietoa-meist%C3%A4/mit%C3%A4-bim>

Viestintävirasto. Viestintäviraston tekniset määräykset työryhmä.

https://www.viestintavirasto.fi/attachments/esitykset/Kalvot_8.3.2016_Viestintaviraston_tekniset_maaraykset_tyoryhma.pdf

Yan, H., Damian, P. 2008. Benefits and Barriers of Building Information Modelling.

http://www.hetnationaalbimplatform.nl/files/pages/294_benefits-and-barriers-of-building-information-modelling.pdf